

· 环境污染及其控制原理与技术 ·

## 机器人在核退役工程中应用现状及发展趋势

刘成安<sup>1,2,3</sup>, 李和平<sup>1</sup>

1. 中国科学院 地球化学研究所 地球深部物质与流体作用地球化学研究室, 贵阳 550002;

2. 西南科技大学 国防科技学院, 绵阳 621010; 3. 中国科学院 研究生院, 北京 100049

据 IAEA (国际原子能机构) 报导, 今后 20 年内全世界将有 100 多个核电站退役。核设施的退役已成为世界性的问题, 研究核设施退役相关技术与方法是当前环境科学中的一项重要课题。强辐射环境中的作业机器人是应用在强辐射环境下的特种机器人, 在核退役工作中有着重要的作用: (1) 在核退役中对于不能用化学去污或其他去污方法达到允许人接近的环境条件下的作业, 必须使用机器人; (2) 核退役机器人能够部分或全部取代在危险环境中人类的工作, 减少或避免了工作人员的辐射时间, 大大提高了工作的安全性; (3) 在核退役工作中使用机器人, 可以加快核退役的进程, 缩短核退役的时间, 为环境恢复、区域安全赢得宝贵的时间。

远距离操作技术是核工业不可缺少的工具, 是核工业的生命线, 这是人所共识的。机器人特别是智能机器人则是核工业重要需求目标。最近几年由于: (1) 世界上放射性废物与日俱增, 严重影响当代“全球”安全和环境, 急待处置; (2) 核电站多年使用的被污染设备老化, 急需维修和更换; (3) 各国废弃的核装置要去污和拆卸; (4) 核武器和核潜艇需要进行保养和检查; (5) 日益增长的人工费用和低剂量限值等问题正以不可阻挡的趋势发展, 引起了各国核工业界的高度重视, 积极研究对策, 积极研究和发发展机器人作业技术。在这种形势下, 国外核工业机器人有了快速起步。在核领域, 世界各国均致力于优先研制适合在危害环境下作业的机器人, 以替代人类的工作, 如美国的 SAMSIN, 德国的 EMSM 系列, 法国的 MA23-SD 系列等, 这些机器人能够部分或全部取代在危害环境中人类的工作, 有效减少或避免了工作人员的辐射时间, 大大提高了工作的安全性。

核退役工程中应用机器人作业目前尚处于起步阶段, 但发展迅速。各核国家采用机器人对需退

役的核设施作业, 主要完成对退役核设施进行去污处理、拆除, 减容, 包装和搬运, 对大型的设施, 如管道进行切割。世界上已有多个国家在解体拆除核设施方面做出了尝试, 例如日本核电实证反应堆 (JPDR) 的退役作业中, 为了安全拆除 JPDR 的生物屏蔽而不增加工作人员的放射性照射剂量, 开发了两个遥控切割系统, 即金刚石锯和钻, 磨料东射切割系统, 实施切割作业。美国 Holmhed systems 公司采用 Brokk250 电液遥控机器人拆毁瑞典的 Rt 研究堆的水泥屏蔽墙。其中工具车有四个轮子和支腿, 遥控操作的手臂分三节, 既可现场亦可远距离操作。虽然上述例子说明的是一些小型核废设施退役应用机器人的情况, 但大型商用堆退役任务已经摆在我们面前。

核设施退役问题是世界共同面临的重要问题, 在 IAEA 定义的 3 级退役中, 要求移走所有放射性组件和拆除物, 使其厂房内的辐射水平接近和达到环境本底, 可供开放重新使用, 其费用十分昂贵。目前, 世界各国将退役工作的重点特别放在了开发适用于退役工艺的最优化方法和途径。在核退役工程机器人的研发中主要着眼于机器人体积小、移动灵活, 适应于复杂而狭窄的作业空间; 提供先进的切割手段、机械手体积小出力大, 活动范围大; 能在水中作业; 能双手协调完成任务; 能自行诊断、排除小故障等。这些技术都注重于机器人本体的技术研究, 而对于机器人作业技术、方法与规范的研究尚未引起人们足够的重视。

目前, 在我国对高危强辐射环境及高放物资的监管和处置的社会效益远大于经济效益。我国辐射监测、退役和应急处置等作业机器人工程化水平不够, 多数尚停留在基础研究和试验阶段, 辐射监测与应急处置机器人技术成果的产品化, 辐射监测、作业与事故应急的工程化和策略与方案的科学规范对核技术健康安全发展非常重要。